

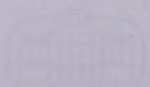
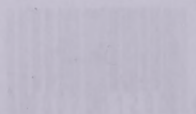
7313

ÉRTEKEZÉSEK
EMLÉKEZÉSEK

A LATERIT- ÉS KARSZTBAUXIT-
KÉPZŐDÉS-FÜGOMÁNYOS
ÉS GYAKORLATI VONATKOZÁSAI

AKADÉMIAI KIADÓ
BUDAPEST

MTAK



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

SZERKESZTI

TOLNAI MÁRTON

178923

BÁRDOSSY GYÖRGY

A LATERIT- ÉS KARSZTBAUXIT- KÉPZŐDÉS TUDOMÁNYOS ÉS GYAKORLATI VONATKOZÁSAI

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ
1993. NOVEMBER 1.

MTAK



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

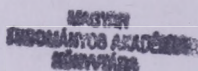
018026

Megjelent a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával

A kiadványsorozatban a Magyar Tudományos Akadémia 1982. évi CXLII. Közgyűlése időpontjától megválasztott rendes és levelező tagok székfoglalói – önálló kötetben – látnak napvilágot.

A sorozat indításáról az Akadémia főtitkárának 22/1/1982. számú állásfoglalása rendelkezett.

ISBN 963 05 7456 X



Kiadja az Akadémiai Kiadó
1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 19–35.

© Bárdossy György, 1998

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítást, a nyilvános előadás, a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is.

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó Rt. ügyvezető igazgatója

A számítógépes szedés az EDITOR Bt. munkája

A nyomdai munkálatokat az AKAPRINT Nyomda Kft. végezte

Ügyvezető igazgató: Freier László

Nyomdai táskaszám: 98/23323

Budapest, 1998

Felelős szerkesztő: Gilicze Gábor

Tipográfia, műszaki szerkesztés: Marton Andor László

Kiadványszám: A-97-51

Megjelent 3 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 236-6258

Printed in Hungary

M. TUD. AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

Könyvleltár 9405/19 98 sz.

TARTALOM

1. Bevezetés	7
2. A bauxit tudományos megismerése	8
3. A bauxitképződés kérdései	19
3.1. A lateritbauxit-képződés fő tényezői	19
3.2. A karsztbauxit-képződés kérdései	22
3.3. A bauxitképződés feltételeinek földtörténeti alakulása	26
4. A bauxitok tudományos megismerésének felhasználása más tudomány- ágakban	30
5. A gyakorlati bauxitkutatások eredményei	33
6. Bauxitvizsgálati és értékelési módszerek	37
7. A magyar kutatók szerepe a bauxitok megismerésében	42
Irodalom	46

1. BEVEZETÉS

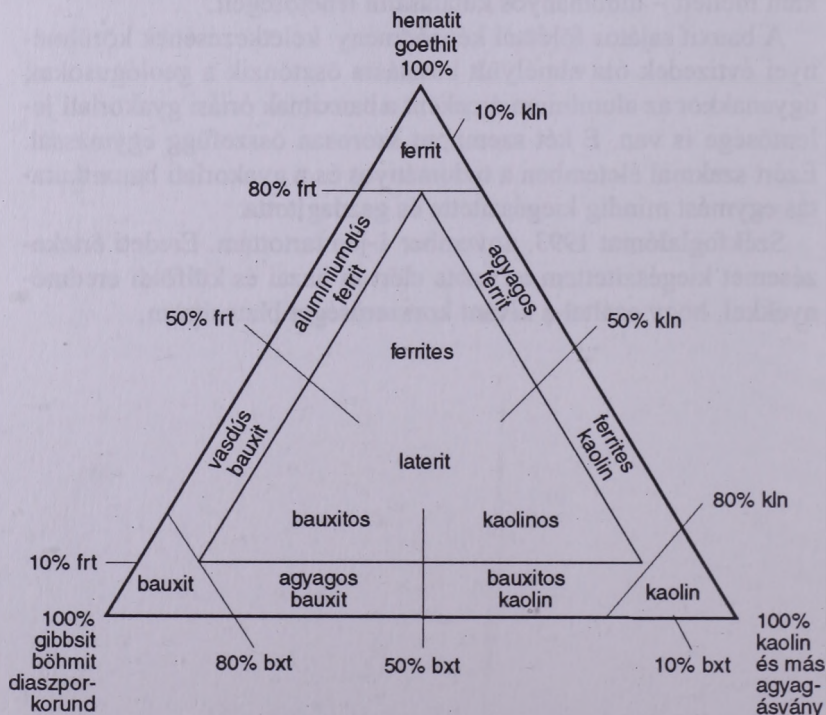
Mindenekelőtt hálával és köszönettel emlékezem Vadász Elemér és Szádeczky-Kardoss Elemér akadémikusokra, akik támogatásukkal tudományos munkásságomat lehetővé tették. Köszönettel tartozom dr. Dózsa Lajosnak, a Magyar Alumíniumipari Tröszt nyugalmazott vezérigazgatójának, aki sok éven át biztosította – hivatalos munkám mellett – tudományos kutatásaim lehetőségeit.

A bauxit sajátos földtani képződmény: keletkezésének körülményei évtizedek óta elmélyült kutatásra ösztönzik a geológusokat; ugyanakkor az alumínium érceként a bauxitnak óriási gyakorlati jelentősége is van. E két szempont szorosan összefügg egymással. Ezért szakmai életemben a tudományos és a gyakorlati bauxitkutatás egymást mindig kiegészítette és gazdagította.

Székfoglalómat 1993. november 1-jén tartottam. Eredeti értekezésemet kiegészítettem az azóta elért új hazai és külföldi eredményekkel, hogy ezáltal a kívánt korszerűséget biztosítsam.

2. A BAUXIT TUDOMÁNYOS MEGISMERÉSE

A bauxit intenzív felszíni vegyi mállás hatására létrejött földtani képződmény. Más képződményektől települési módja mellett első-sorban sajátos ásványos összetétele alapján lehet megkülönböztetni (1. ábra). A leggyakoribb felszíni trópusi mállástermék a **laterit**, amelyben nagyjából egyenlő arányban találhatók agyagásványok,



1. ábra. A laterites-bauxitos kőzetek ásványtani osztályozása
BÁRDOSY és ALEVA (1990) szerint

ferri-oxidok és -hidroxidok, valamint szabad alumíniumhidrát ásványok. Amennyiben az utóbbiak a kőzetben jelentősen feldúsulnak, esetenként uralkodóakká válnak, **bauxitról** beszélünk. A vasásványokban dús mállástermék a **laterites ferrit**, a **szaprolit** pedig uralkodóan agyagásványokból áll. E négy mállástermék között nincs éles határ, számos helyen fokozatos átmenet van közöttük.

A bauxit tudományos megismerése az alábbi hat fő irányban haladt:

a) *Települési mód*

Az egész földre kiterjedő gyakorlati bauxitkutatás mára lehetővé tette a bauxit fő települési formáinak felismerését. E tapasztalatok alapján három fő települési formát különböztetünk meg:

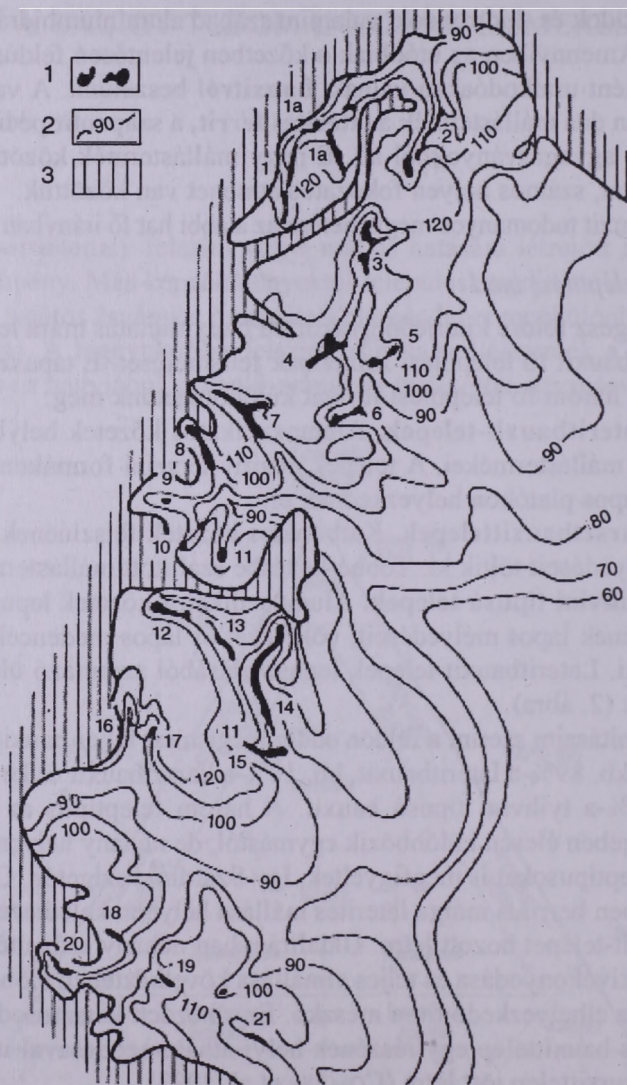
- **Lateritbauxit-telepek.** Alumoszilikátos kőzetek helyben kialakult mállástermékei. A telepek pozitív térszíni formákon, többnyire lapos platókon helyezkednek el.

- **Karsztbauxittelepek.** Karbonátos kőzetek felszínének karsztos mélyedéseit töltik ki. Többé-kevésbé szállított mállástermékek.

- **Tyihvini típusú telepek.** Alumoszilikátos kőzetek lepusztított felszínének lapos mélyedéseit, völgyeket és lapos medencéket töltenek ki. Lateritbauxit-telepek lepusztulásából származó üledékes kőzetek (2. ábra).

Számításaim szerint a földön eddig megismert teljes bauxitmenyiség kb. 89%-a lateritbauxit, kb. 10%-a karsztbauxit és kevesebb mint 1%-a tyihvini típusú bauxit. A három teleptípus az esetek többségében élesen különbözik egymástól, de néhány helyen átmeneti teleptípusokat is megfigyeltek. Így Szardínia szigetén, Olmedo közelében berriázi márga laterites mállása helyben keletkezett lateritbauxit-telepet hozott létre. Oldalirányban néhány száz méterre a márga kivékonyodása és teljes elmállása következtében előbukkant az alatta elhelyezkedő titon mészkő. Ez elkezdett karsztosodni és a laterites bauxittelep egy részének helyi áthalmozódásával itt igazi karsztbauxittelep jött létre (COMBES et al. 1993).

A három fő teleptípuson belül további altípusokat lehet megkülönböztetni a telepek alakja és mérete szerint. Ezeket részletesen



2. ábra. Tyihvini típusú bauxittelepek Tyihvin közelében,
Oroszország, KIRPALJ (1977) szerint

1. bauxittelepek, 2. a bauxitfekü felszínének izohipszái és tengerszint feletti magassága, 3. devon korú palás agyagkö peneplainedett felszine

„Karst Bauxites” (1982) és „Lateritic Bauxites” (1990) című könyvekben ismertettem.

b) Vegyi összetétel

A bauxit a földkéreg alumíniumban legfeldúsultabb kőzete: átlagos Al_2O_3 -tartalma 45–60%. Egyes vasszegény bauxitokban 70–73% Al_2O_3 -at is kimutattak. A bauxit egyben a leghidratáltabb kőzet is a földön: a trihidrátos bauxitokban a kémiaiilag kötött víz mennyisége 28–34%-ot is elér. A monohidrátos bauxitokban ugyanakkor csak 11–14% $+\text{H}_2\text{O}$ van. Fontos kémiai komponens az Fe_2O_3 , melynek mennyisége többnyire 10–25%. Egyes telepeken 30–45%-ra is feldúsul. Ez az összetétel már átmenet a laterites feritbe. Vannak ugyanakkor fehér, vasszegény bauxitfajták is, ritkán egész bauxittelepek, melyek Fe_2O_3 -tartalma csak 1–5%. Ezekből utólag oldódott ki a vas, főként redukációs folyamatok révén. A bauxitok az üledékes kőzeteknél több titánt tartalmaznak, többnyire 1–3%-ot. Egyes lateritbauxit-telepeken 8–14%-ra is feldúsult a TiO_2 . Ez a jelenség titándús kiinduló kőzetre vezethető vissza. A bauxitok legfőbb kémiai jellegzetessége kis SiO_2 -tartalmuk. Egyes bauxitminták 1%-nál is kevesebb SiO_2 -t tartalmaznak és igen gyakoriak az 1–7%-os értékek. A reaktív SiO_2 -tartalom növekedésével a bauxit egyre agyagosabbá válik, előbb agyagos bauxitba, majd bauxitos agyagba megy át. Az utóbbi már 25–35% SiO_2 -t tartalmaz.

A karsztbauxitok 0,1–10% CaO -t, MgO -t és CO_2 -t tartalmaznak. P_2O_5 -tartalmuk néhány tizedszázalék. Helyenként a terméken, ill. a szulfátkén dúsul több %-ra. A lateritbauxitokból ezek a komponensek vagy teljesen hiányzanak, vagy csak nyomokban vannak jelen. A kiinduló kőzet összetételétől függően számos nyomelemet is találtak a bauxitokban. Leggyakoribbak a Be, Cr, Ga, Ge, Sc, Th, U, V és Zr, valamint a ritkaföldfémek.

Az iparilag felhasználható bauxit ismerve a vegyi összetétel. Ezért a bauxitkutatás és bauxitbányászat kapcsán világviszonylatban többmillió vegyelemzés készült. Sajnos eddig ezeknek csak egy kis töredékét dolgozták fel tudományosan.

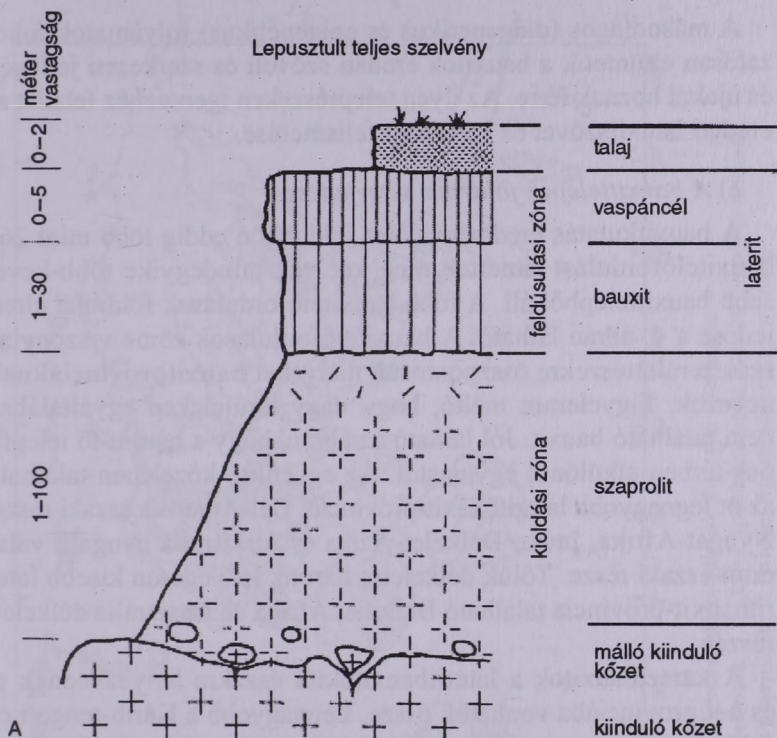
c) Ásványos összetétel

A bauxitok ásványos összetételében közetalkotó jelleggel viszonylag kevés ásvány vesz részt. A fő alumíniumásványok a **gibbsit**, a **boehmit** és a **diaszpor**. A lateritbauxitok főként gibbsitesek, a karsztbauxitokban mindhárom alumíniumásvány megtalálható. **Korund** elsősorban az átalakult (metamorf) bauxitokban fordul elő. Fő vasásvány a **hematit** és a **goethit**. Egyes paleozóos bauxitokban a berthierin is feldúsul. Még ritkább a sziderit. Az **anatáz**, a **rutil** és az **ilmenit** a fő titánásványok. A kovásva a karsztbauxitokban szinte kizárólag a **kaolinit**ben van jelen; a lateritbauxitokban a kaolinit mellett a **kvarc** is gyakori, ha a kiinduló kőzet kvarcban dús. A leggyakoribb másodlagos ásványok a kalcit, pirit, markazit, alunit és crandallit.

Az utóbbi évtizedek igen kiterjedt ásványtani vizsgálatai nyomán ma már a világ összes fontosabb bauxitelőfordulásának ásványos összetételét ismerjük. Az ásványképződési folyamatok részleteit illetően azonban még sok a bizonytalanság és vitatott kérdés.

d) A bauxitlepek belső felépítése

A lateritbauxit-telepek belső felépítése többnyire a következő: A kiinduló kőzet felett egy agyagból és bauxitos agyagból álló, **szaprolitnak** nevezett réteg van (3. ábra). Erre következik a tulajdonképpeni **bauxitszint**, amely többnyire 1–10 méter vastag, de egyes telepekben 50 métert is elér. Felette található az ún. **vaspáncél** („cuirasse”), melyben másodlagosan feldúsulnak a vasásványok; élénkvrös szín és nagy keménység jellemzi. Amennyiben a telep a felszínen van, úgy legfelül 0,5–1,0 méter vastag, barnásszürke humuszos **talajréteg** zárja a bauxitszelvényt. Maga a bauxit többnyire megőrzi a kiinduló kőzet szöveti jellegeit, ezt öröklött vagy reziduális szövetnek nevezzük. Vannak ugyanakkor nagy bauxitelőfordulások, melyekben pizoidok képezik a bauxit fő tömegét, pl. Weipa, Ausztráliában. A bauxit megjelenése (szerkezete) többnyire homogén-tömeges, ritkábban tömbös, sőt oszlopos szerkezetek is előfordulnak, pl. Trombetas Brazíliában.



3. ábra. Típusos lateritbauxit-szelvény BÁRDOSSY és ALEVA (1990) szerint

A karsztbauxitok a lateritbauxitoktól eltérően többségükben valódi üledékes kőzetek. A szállítás módjától, jellegétől és a leülepedés helyétől függően szövetük és szerkezetük igen sokféle lehet. Leggyakoribb a mikrotörmelékes, az arenites, a gömbszemcsés és a konglomerátumos szövet. Az utóbbi évtizedben a szedimentológia korszerű vizsgálati és értékelési módszereit a karsztbauxitokra is alkalmazták, ami jelentősen előrevitte a karsztbauxitok felhalmozódási körülményeinek megismerését (JUHÁSZ 1989, MINDSZENTY 1985).

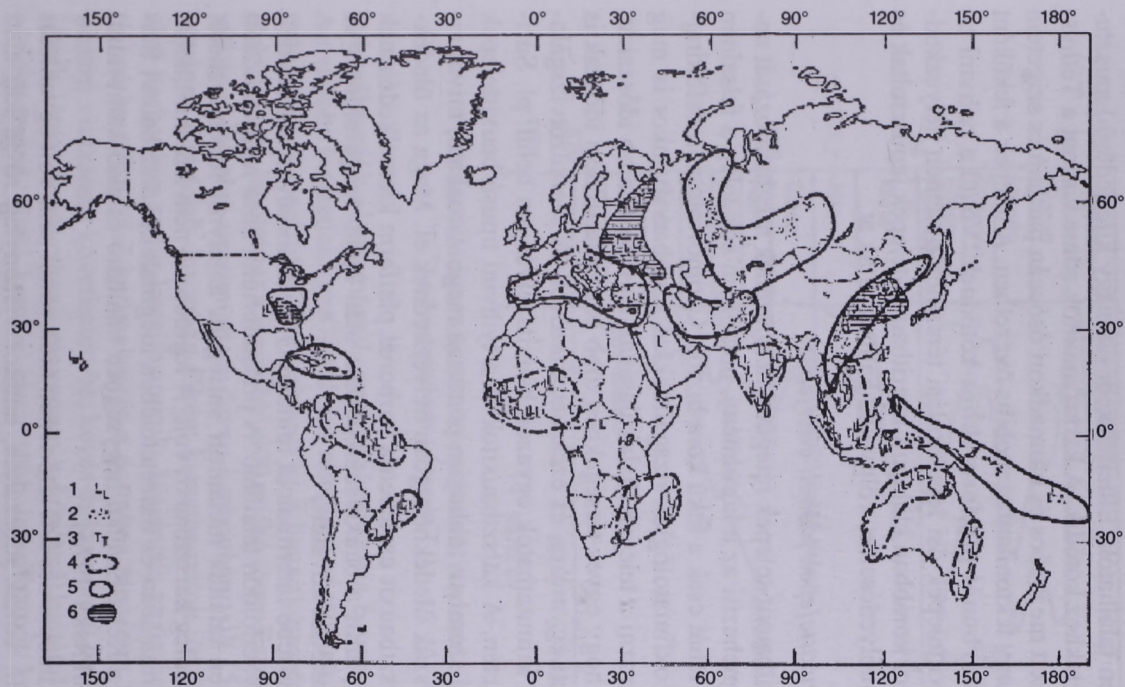
A másodlagos (diagenetikus és epigenetikus) folyamatok fokozatosan eltüntetik a bauxitok eredeti szöveti és szerkezeti jellegeit és újakat hoznak létre. Az ilyen teleprészeken igen nehéz feladat az eredeti bauxitszövet és szerkezet felismerése.

e) A bauxittelepek földrajzi elterjedése

A bauxitkutatás eredményeként földünkön eddig több mint 260 bauxitelőfordulást ismertek meg, melyek mindegyike több-kevesebb bauxittelepből áll. A főbb bauxitelőfordulások földrajzi elterjedése a 4. ábrán látható. A bauxitelőfordulások zöme viszonylag szűk területrészekre összpontosul, melyeket **bauxitprovinciáknak** nevezek. Figyelemre méltó, hogy nagy területeken egyáltalában nem található bauxit. Jól látható az ábrán, hogy a három fő teleptípus térben elkülönül egymástól. Az egyenlítő közelében található az öt legnagyobb lateritbauxit-provincia: Dél-Amerika északi része, Nyugat-Afrika, India, Délkelet-Ázsia és Ausztrália nyugati, valamint északi része. Tőlük délkeletre három, lényegesen kisebb lateritbauxit-provincia található Brazília, Afrika és Ausztrália délkeleti részén.

A karsztbauxitok a lateritbauxitoktól északra helyezkednek el és hét provinciába vonhatók össze. Legnagyobb a Karib-tengeri és a Mediterrán provincia. Az utóbbi keleti folytatásának tekinthető a jóval kisebb iráni-Himalája-provincia. Egy további bauxitprovincia jelölhető ki az Urál hegység és Közép-Ázsia területén. Jelentős provinciát alkotnak a Kína és Vietnam területén található karsztbauxitok. Végül az Egyesült Államok délkeleti részén és a Csendes-óceán délnyugati részén van két kisebb jelentőségű karsztbauxit-provincia. A tyihvini típusú bauxittelepek három kisebb provinciába foglalhatók össze, melyek Oroszország nyugati részén, az Egyesült Államok délkeleti részén és Kína északkeleti részén helyezkednek el.

E sajátos földrajzi elrendeződés részben tektonikai, részben geomorfológiai okokkal magyarázható. A nagy lateritbauxit-provinciák tektonikailag nyugodt ősi pajzsokon és az őket körülvevő táblás



4. ábra. A bauxitelőfordulások földrajzi elterjedése

1. lateritbauxitok, 2. karsztbauxitok, 3. tyihvini típusú bauxitok, 4. lateritbauxit-provinciák,
5. karsztbauxit-provinciák, 6. tyihvini típusú bauxitok provinciái

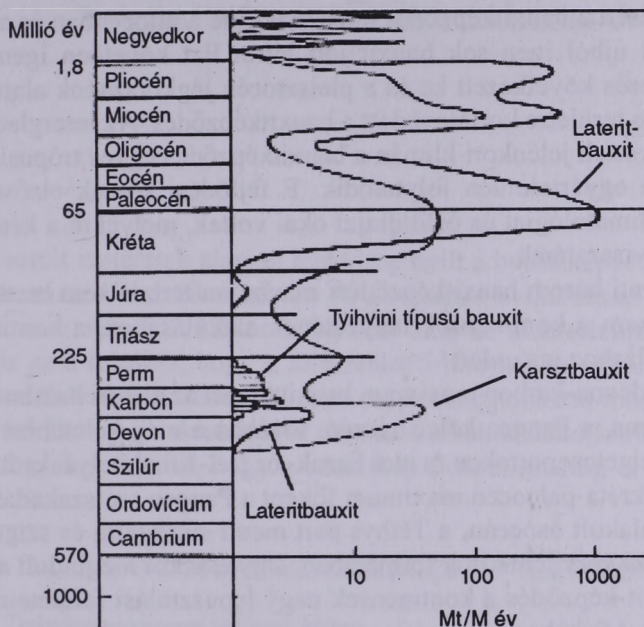
területeken található. Elhelyezkedésük nagy kiterjedésű lepusztulási felületekhez kötődik. A karsztbauxitok zöme viszont a Téthysnek nevezett mezozoos és harmadkori ósóceán partjain és szigetein jött létre, egy tektonikailag mobilis övezetben. A telepek a feküként szolgáló **karbonát platformokhoz** kötődnek. Végül a tyihvini típusú bauxittelepek ősi lepusztulási térszínek peremén helyezkednek el, ahol korábban kialakult lateritbauxit-telepek lepusztultak és a térszín mélyedéseibe, völgyeibe halmozódtak át.

f) A bauxittelepek időbeli elterjedése

A lateritbauxit-telepek rétegtani helyzetének meghatározását nagyon megnehezíti az a körülmény, hogy igen sok telep a felszínen található, tehát csak a fekü kora biztos. Geomorfológiai, ősföldrajzi és paleoklimatológiai vizsgálatokkal azonban ilyenkor is meg lehet határozni a telepek kialakulásának legvalószínűbb időszakát. Kiderült, hogy egyes térségekben több bauxitképződési időszak is következett egymásra, és ezek bauxitszövet- és szerkezetvizsgálatokkal jól kimutathatók egyazon bauxitszelvényen belül, pl. Surinam területén. A karsztbauxitok és a tyihvini típusú bauxittelepek kora ezzel szemben többnyire pontosan meghatározható, mivel viszonylag szűk üledékhézagban helyezkednek el. Maga az üledékhézag karsztbauxit esetében a karbonát platform kiemelkedésének felel meg, amit a bauxit leülepedése után újabb tengerelőöntés és üledéklerakódás követett.

A legidősebb lateritbauxit mintegy 3100 millió éves, Afrika déli részén, Swaziföldön található. A prekambriumi korú rétegek között több helyen találtak metamorf **smirgelt**, amelyről feltételezhető, hogy eredetileg karsztbauxit volt. A legidősebb nem átalakult, tehát eredeti formájában és összetételében megmaradt karsztbauxit Szibériában, a Kelet-Szajáni hegységben található és alsó-kambriumi korú (BUSHINSKY 1975).

A bauxitképződés a földtörténeti múlt során nem volt egyenletes intenzitású; voltak időszakok, amikor viszonylag rövid idő alatt igen sok bauxit keletkezett. Ezeket a maximumokat olyan időszaka-



5. ábra. A bauxitképződés intenzitásának változásai a fanerozoikum folyamán

kok választják el egymástól, amikor igen kevés bauxit jött létre. Az utóbbi évtizedek igen részletes rétegtani vizsgálatai nyomán mára eléggé megbízható kép alakult ki a bauxitképződés időbeli alakulásáról, legalábbis a legutóbbi 600 millió évre. Eszerint a bauxitképződés első maximuma a devon-karbonban volt (5. ábra). A középső és a felső devonban főként karsztbauxitok jöttek létre, az alsó karbonban pedig lateritbauxitok. Majdnem az összes tihyini típusú bauxit a felső karbonban és a permiben ülepedett le. Ezután hosszú visszaesés következett be, kevés és kisméretű bauxitlepek jöttek létre. A következő maximum a középső krétától az eocén elejéig terjed. Ettől kezdve jóval több lateritbauxit keletkezett, mint karsztbauxit. A felső eocénban és az oligocénban újra erősen

visszaesett a bauxitképződés intenzitása, de a miocénban és a pliocénban újból igen sok bauxit jött létre. Ezt követően igen erős visszaesés következett be és a pleisztocén jégkorszakok alatt egészen kis területre korlátozódott a bauxitképződés. Az interglaciálisnak tekintett jelenkori klímán a bauxitképződés egyes trópusi területeken egyértelműen folytatódik. E fejlődési sornak elsősorban paleoklimatológiai és ösföldrajzi okai voltak, melyekre a későbbiekben visszatérek.

A fenti három bauxitképződési maximum térben nem esett egybe, hanem a kontinensek helyzetének alakulásához, a kontinensvándorláshoz igazodott:

- A devon-karbon maximum bauxitlepei az akkori hatalmas őskontinens, a Pangea keleti részén, továbbá a még keletebbre levő nagy szigetcsoportokon (a mai Észak- és Dél-Kína) helyezkedtek el.

- A kréta-paleocén maximum főként a Pangea szétszakadása révén kialakult ósóceán, a Téthys part menti síkságaira és szigeteire terjedt ki karsztbauxitok formájában. Ugyanakkor megindult a lateritbauxit-képződés a kontinensek nagy lepusztulási felületein, így Nyugat-Afrikában.

- A miocén-pliocén maximum már főként a kontinensek belsejének lepusztulási felületeire terjedt ki lateritbauxit formájában. Ugyanakkor a Karib-tenger térségének karbonát platformjain, főként Jamaica szigetén jelentős karsztbauxitlepek jöttek létre.

3. A BAUXITKÉPZŐDÉS KÉRDÉSEI

A felsorolt ismeretek alapján lehetőség nyílt a bauxitképződés magyarázatára. Célszerű a három fő teleptípus kialakulását külön-külön megvizsgálni. Közös kiindulási alap az **aktualizmus elve**, vagyis az a feltevés, hogy a földtörténeti múltban is ugyanazok a földtani folyamatok hatottak, mint amiket napjainkban lehet megfigyelni. Persze az aktualizmus elve sem alkalmazható korlátlanul; meg fogjuk vizsgálni, hogy a bauxitképződésre meddig érvényes.

3.1. A LATERITBAUXIT-KÉPZŐDÉS FŐ TÉNYEZŐI

a) *Trópusi monszun jellegű klíma*

Jellemzői a legalább 22 °C éves átlaghőmérséklet és több mint 1200 mm éves csapadékmennyiség. A monszun jelleg azt jelenti, hogy 1–3 viszonylag száraz hónapot 9–11 igen csapadékos hónap követ.

b) *Kedvező geomorfológia*

Olyan térszín, ahol a felszíni erózió mértéke minimális. Ilyenek a nagy kiterjedésű kontinentális lepusztulási felületek, az ún. peneplaineek. Ezek helyi kiemelkedésükkel a csapadékvíz kellő átszivárgását is biztosítják. E feltételeknek legjobban a lapos vagy enyhén hullámos felszínű platók felelnek meg. Ritkábban dómszerű kerek vagy elnyúlt dombok tetején, egyes kivételes esetekben viszonylag meredek lejtőkön is kialakulhattak bauxitlepek, ha a sűrű növénytakaró az eróziót megakadályozza, pl. Serra de Mantiqueira Brazília délkeleti részén.

c) *Kedvező hidrogeológiai feltételek*

Jó vízvezető kőzet, ami a vegyi mállás során oldatba ment kémiai komponensek eltávolítását lehetővé teszi. Ehhez az is szükséges, hogy a mállási öv a talajvízszint felett helyezkedjen el, mert intenzív mállásra, bauxitosodásra ez alatt már nincs lehetőség. Kivételesen kedvező körülmények között a talajvíz éves ingadozásának övében is kialakultak vékonyabb bauxittelepek.

d) *Megfelelő összetételű és mállékony kiinduló kőzet*

Nyilvánvaló, hogy bauxit csak olyan kőzetből képződhet, amely alumíniumot is tartalmaz. Korábban azt hitték, hogy a kiinduló kőzet alumíniumtartalmának nagysága meghatározó volt a bauxitképződésben. Az utóbbi évtizedek bauxitkutatásai során derült ki, hogy viszonylag kis alumíniumtartalmú (1–5%) kőzetekből, pl. arkózás homokkövekből is hatalmas bauxittelepek jöttek létre, ha a kiinduló kőzet jó vízvezető volt és ásványai mállékonyak voltak, pl. Weipa, Ausztrália északkeleti részén.

A másik téves elképzelés az volt, hogy nagy kvarctartalmú kőzetekből csak agyag, legfeljebb laterit alakulhatott ki, de bauxit nem. Ezt az elképzelést termodinamikai számításokra alapozták. Azóta kiderült, hogy földünk legnagyobb bauxitelőfordulásai között több olyan is van, amely nagy kvarctartalmú kőzetből, pl. gránitból jött létre, pl. Los Pijiguaos Venezuelában. Ilyenkor a kiinduló kőzet kvarcsemcséi közül a kisebbek feloldódtak és csak a nagyobbak maradtak meg, azok is oldási („étetési”) nyomokkal. Ezek a bauxitok 5–20% öröklött kvarcot tartalmaznak.

e) *A biológiai tényezők szerepe*

A ma is képződő felszíni bauxittelepeket trópusi őserdő, egyes térségekben ritkás, szavanna típusú erdő borítja. A növénytakaró szerepe kettős: egyrészt a növények gyökérzete körül folyó biológiai folyamatok elősegítik a vegyi mállás előrehaladását. Különösen fontos szerepe van a talajbaktériumoknak, amelyek élettévékenységükkel módosítják a talajvíz Eh- és pH-ját és oldóképességét.

Egyes növények, pl. az eukaliptuszfélék és trópusi óriásfüvek kovásvat vonnak ki a talajból és azt leveleikben és szárukban felhalmozzák. Ez is érdemben elősegíti a kovásvat kivonását a talajból. Másrészt a növénytakaró meglepően jó védelmet nyújt a felszíni erózióval szemben, megakadályozza a kialakult mállási öv gyors lepusztulását.

A lateritbauxit-telepek részletes tanulmányozása során derült ki, hogy különösen kedvező feltételek esetén a kiinduló kőzet ásványai közvetlenül és teljesen elbomlanak. Az alkáliák, az alkáliföldfémek és a kovásvat kioldódnak és oldatban eltávoznak. Alumíniumban, vasban és titánban gazdag mállási maradék marad vissza. Ezt a folyamatot nevezzük **közvetlen bauxitosodásnak**. Ilyenkor az üde kiinduló kőzet borotvaéles felület mentén érintkezik jó minőségű bauxittal. Vékonycsiszolatokban megfigyelhető, hogy a reakciófelület egyik oldalán a földpátásványok teljesen üdék, míg a másik oldalon a földpátot gibbsit váltotta fel.

Ha a hidrogeológiai és geomorfológiai adottságok kevésbé kedvezőek, akkor a kiinduló kőzetből előbb agyagásványok jönnek létre (ez a szaprolit), vagy agyagásványok és gibbsit elegye (laterit). Ha a vegyi mállás folyamata folytatódik, vagy a külső feltételek lényegesen kedvezőbbekké válnak, úgy fokozatosan az agyagásványok is elbomlanak, kovásvattartalmuk kioldódik, és tiszta bauxit marad vissza. Ezt az összetett folyamatot nevezzük **közvetett bauxitosodásnak**. A közvetlen és a közvetett bauxitosodás egymás mellett, egyazon bauxitszelvényben is felléphet, amennyiben a kiinduló kőzet vízvezető képessége a térben erősen változó. Ilyenkor az eredetileg legkevésbé vízvezető részekben megmaradt a kiinduló kőzet, beágyazva bauxit és agyagos bauxit közé. Ezt a jelenséget **szelektív bauxitosodásnak** nevezzük, mert az átszivárgó csapadékvíz valósággal kikerüli a legkevésbé vízvezető részeket.

Összefoglalva, jelenlegi ismereteink szerint a laterit és a bauxit hasonló trópusi monszun klímán jött létre és növénytakarójuk is feltehetően közel azonos volt. A különbség a geomorfológiában, a hidrogeológiai viszonyok kedvezőségében és helyenként a kiinduló

kőzet mállékonyságában lehetett. Emellett az **időtényező** is fontos: minél hosszabb ideig tartott kedvező klímán a trópusi mállás, annál teljesebb lett a bauxitosodás és annál tovább haladt lefelé. E folyamatnak térben a talajvíz szintje szabott határt. Időben klímaváltozás állíthatta meg a folyamatot, ha az éghajlat szárazabbá, ill. hűvösebbé vált. Tektonikai kiemelkedés is véget vethetett a bauxitlep kialakulásának, mert a felerősödött erózió az egész mállási szelvényt lepusztíthatta. Végül néhány esetben fedőrétegek lerakódása állította meg a bauxitképződés folyamatát.

3.2. A KARSZTBAUXIT-KÉPZŐDÉS KÉRDÉSEI

A karsztbauxitlepek keletkezésének felderítése a lateritbauxitokénál jóval nehezebb. A telepek sokfélék, sokféle földtani környezetben rakódtak le, kiinduló kőzeteikre pedig többnyire csak következtetni tudunk. Az utóbbi évtized igen alapos szedimentológiai vizsgálatai alapján (COMBES 1990, JUHÁSZ 1989, MINDSZENTY 1985) kiderült, hogy a karsztbauxitlepek zöme **allochton eredetű**, tehát valódi üledékes kőzet. Alig van néhány bizonyítottan helyben keletkezett, tehát **autochton eredetű** telep. Ugyanakkor viszonylag sok az olyan telep, amely átmeneti helyzetet foglal el a két szélső teleptípus között. Vagy az történt, hogy a lepusztulás és a szállítás („áthalmazódás”) csak igen rövid volt, kevesebb, mint egy kilométer. Ezeket nevezzük **paraautochton eredetű** telepeknek. A másik eset az, amikor az elszállított bauxitos málladék leülepedése után a karsztos mélyedésekben tovább bauxitosodott, ha erre kedvező hidrogeológiai körülmények lehetőséget adtak. Ezek a **parallochton eredetű** telepek. Bauxitszövet- és szerkezetvizsgálatokkal ez a négy keletkezési mód jól megkülönböztethető.

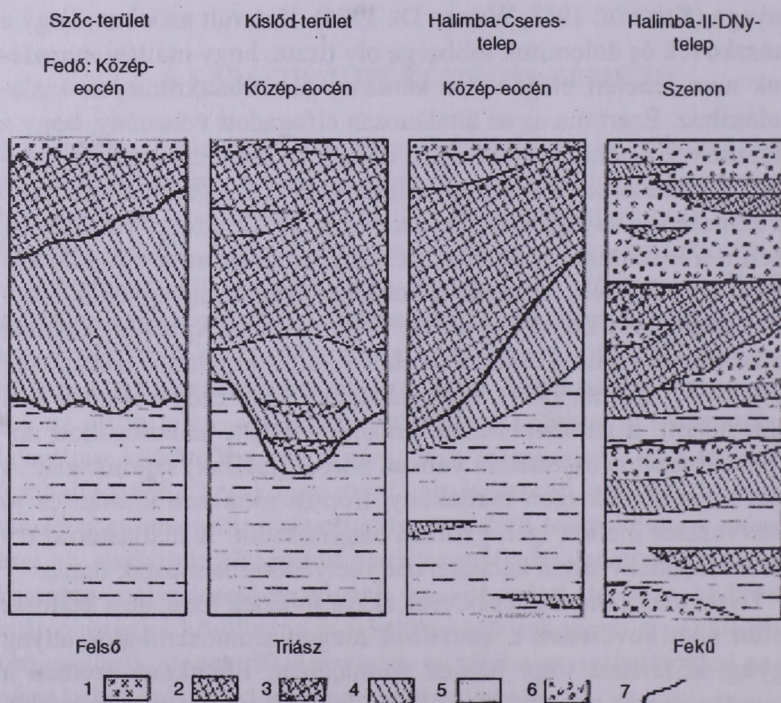
Az autochton telepek kivételével a kiinduló kőzet meghatározása igen nehéz. Azok a lateritszelvények ugyanis, melyek lepusztulásából a bauxit anyaga származtatható, szükségszerűen magasabban fekvőek, mint az érintett karsztbauxitlepek. Ezért szinte kivétel

nélkül teljesen lepusztultak. Ott, ahol a szállítás nagyon rövid volt, még található apró közettörmelékek a bauxitban, egyébként csak 1 mm-nél kisebb szemcsék maradtak meg a kiinduló kőzetből. Ezek fellazítással, iszapolással és szűréssel kinyerhetők a bauxitból; immerziós mikroszkópi módszerekkel meg is határozhatók. Ez az ún. mikromineralógiai módszer (KISS 1955, MINDSZENTY és GÁLNÉ SOLYOS 1988).

Korábban sokan gondoltak arra, hogy a fekü mészkövek és dolomitok oldási maradéka lehetett a legtöbb karsztbauxit kiinduló anyaga (KIŠPATIĆ 1912, WEISSE DE 1964). Kiderült azonban, hogy e mészkövek és dolomitok többsége oly tiszta, hogy mállási maradékuk nem lehetett elegendő a kérdéses karsztbauxitlepek kialakulásához. Ezért ma az az általánosan elfogadott vélemény, hogy a mészkövek és dolomitok mállási maradéka mellett különböző alumoszilikátos kőzetek laterites mállástermékei szolgáltatták a karsztbauxitlepek anyagának túlnyomó részét. Az eddigi vizsgálatok szerint a legkülönbözőbb kőzetek szerepelhettek mint kiinduló kőzetek; így ofiolitok, bazaltok, andezitek, agyagok, agyagkövek, márgák, arkózák és kristályos palák. Jamaica és az Appenin-félsziget bauxitjaiban vulkáni tufaszemcséket sikerült kimutatni (BÁRDOSY et al. 1977, COMER 1974). Igen valószínű, hogy ezek a telepek szél által hozott, a karsztfelszínen lerakódott és ott bauxitosodott andezites-bazaltos összetételű vulkáni porból (tufából) származnak. A laza tufás üledék igen mállékony, trópusi monszun klímán és jó vízelvezetés mellett igen gyorsan bauxitosodik. A mállástermékeket a csapadékvizek a karszttérszín mélyedéseibe mosták össze.

Tiszta karsztbauxitlepek csak akkor jöhettek létre, ha a szállítás során nem keveredett a bauxithoz idegen alumoszilikátos anyag agyag, kőzetliszt vagy homok formájában. Ellenkező esetben a bauxitszemcsék gyorsan rezsilifikálódnak, ahogy az számos lateritbauxit-telep környezetében ma is megfigyelhető. A lepusztulási felszínekhez kötött mállási szelvények, úgy látszik, biztosítani tudták ezt a feltételt, a karbonát platformokra ezért idegen, alumoszilikátos anyag nem érkezett. Egyedül a kiemeltebb helyzetű fekü karbo-

nátos kőzetek gyors lepusztulása vezetett egyes előfordulásokon mészkő- és dolomitkavicsok felhalmozódásához. Ezek a kavicsok többnyire hintve találhatók a bauxittelepben, ritkábban néhány cm-től méterig terjedő vastagságú közbetelepüléseket alkotnak. A közbetelepülések alapanyaga (cementje) bauxit vagy agyagos bauxit, ami arra utal, hogy a bauxitfelhalmozódás a kavicsok behordása idején sem szünetelt. E jelenségnek egyik legszebb példája a halimbai medencét kitöltő nagy, rétegszerű bauxittelep (6. ábra).



6. ábra. A halimbai, szőci és kislődi bauxittelepek típusszelvényei

1. másodlagosan átalakult bauxit (pl. szürke pirites), 2. jó minőségű bauxit,
3. jó minőségű bauxit hintett dolomit és mészkő kavicsokkal,
4. agyagos bauxit, 5. bauxitos agyag, 6. bauxittal cementált dolomit és mészkőbreccsa, konglomerátum, 7. a fő szedimentológiai egységek határai

A laterites mállási szelvények lepusztult anyagát időszakos vagy többé-kevésbé állandó vízfolyások szállították jelenlegi helyükre. Egyes helyeken a hegylábi törmelékkúpokhoz hasonló bauxitos törmelékkúpok alakultak ki ezen a módon, például Szóc és Halimba térségében (BÁRDOSY és JUHÁSZ 1992). A szállítás során minőségi szétkülönülés is bekövetkezett: legtávolabbra a bauxitos agyag finom kolloidális iszapja jutott. Ezzel szemben a kovasavszegény alumínium- és vasdús bauxitzemcsék jóval hamarabb lerakódtak. Kiváló minőségű bauxitlencsék jöttek létre ezen a módon.

Egyes helyeken a bauxit alacsonyabban fekvő mocsári környezetben rakódott le, ahol redukálódott. Barnás sziderites és szürkés pirites-markazitos bauxit jött így létre. COMBES (1984) vizsgálatai szerint középső Görögországban egyes bauxitletelek tengerparti lagúnákban ülepedtek le. Az Urál hegység középső devon korú bauxitleteleinek alsó, vörös színű része a tengerparti karbonát síkságon rakódott le. Felső, zöldesszürke része viszont magában a tengerben, annak sekély, partközeli részén ülepedett le. A bauxitban talált sekélytengeri ősmaradványok, továbbá vékony tengeri mészkő-közbetelepülések bizonyítják e feltevés helyességét (BUSHINSKY 1975).

A tyihvini típusú telepek egyértelműen szállítottak, tehát allochton eredetűek. Ezt bizonyítja a bauxit rétegzettsége és törmelékes szövete. Itt is az a fő genetikai probléma, hogy a feltételezett kiinduló lateritszelvények teljesen lepusztultak, még nyomaik sem maradtak meg. A bauxitos-laterites málladék elszállítása folyóvizek által történt, leülepedésük pedig alumoszilikátos kőzeteken játszódott le. Fennállt tehát a külső szennyeződés és a reszifikáció veszélye. Bizonyára ez az oka annak, hogy ez a teleptípus oly ritka, a másik kettő mellett teljesen alárendelt jelentőségű.

3.3. A BAUXITKÉPZŐDÉS FELTÉTELEINEK FÖLDTÖRTÉNETI ALAKULÁSA

Hosszú viták után a kutatók döntő többsége egyetértésre jutott a három fő teleptípus keletkezési körülményeire vonatkozóan. Földtörténeti tekintetben azonban három további kérdésre kellett választ találni:

a) Meddig érvényesíthető a bauxitképződés magyarázatában az aktualizmus elve?

b) Miként magyarázható meg az aktualizmus keretein belül a bauxitelőfordulások jelenlegi földrajzi fekvése?

c) Mi az oka a bauxitképződés oly változó intenzitásának a fanerozoikum folyamán?

Ami az első kérdést illeti, a geokémikusok és mineralógusok egybeeső véleménye szerint a fanerozoikumban biztosan, de feltehetően a prekambrium folyamán is a föld felszínén ugyanazok a termodinamikai és ásványképződési törvényszerűségek voltak érvényben, mint napjainkban. Ez tehát nem korlátozza az aktualizmus alkalmazását a bauxitelőfordulásokra. Tudjuk ugyanakkor, hogy a növénytakarónak milyen fontos szerepe volt a vegyi mállás irányításában és a kialakult mállási öv védelmében a lepusztulás erőivel szemben. Ősnövénytani ismereteink szerint a szárazföldek felszínét a középső devonban hódította meg a növényvilág. A mai-val analóg bauxitképződés tehát csak ettől az időtől kezdve képzelhető el. Ez tehát a bauxitképződés vonatkozásában az aktualizmus alkalmazásának határa. Tudjuk, hogy van néhány ennél is idősebb bauxitelőfordulás, de azt, hogy ezek miként jöttek létre és miként őrződtek meg növénytakaró nélkül, nem ismerjük.

A második kérdés is sokáig megoldatlan volt. Ha ugyanis elfogadtuk, hogy bauxitlepek csakis trópusi monszun klímán jöhettek létre, akkor megmagyarázhatatlannak tűnt, hogy bauxitlepeket messze északon, pl. a Tajmir-félszigeten és mai sivatagok területén, pl. Szaudi Arábiában is találtak. A lemeztektonika elmélete és a belőle következő **kontinensvándorlás** felismerése hozta meg a

választ ezekre a kérdésekre. 1973-ban próbáltam meg először az akkori még nagyon elnagyolt kontinensrekonstrukciókat a bauxittelepek földrajzi fekvésével összevetni. Az eredmények meglepően jók voltak, amennyiben a bauxittelepek túlnyomó többsége az adott időszak trópusi-szubtrópusi területeire, az északi és déli 30. szélességi fokok közé esett (BÁRDOSSY 1973).

Azóta egyre pontosabb és részletesebb kontinensrekonstrukciók jöttek létre, sőt olyan paleoklíma-modellek is, melyek az éves átlaghőmérsékletre, a csapadékeloszlásra, továbbá az óceáni hideg- és melegáramlásokra mutatják be a legvalószínűbb feltevéseket. E modelleket is összevettem az adott időszakban képződött bauxitelőfordulások földrajzi helyzetével. Az esetek túlnyomó többségében igen jó egyezést találtam az adott paleoklimatológiai modell és a bauxitok földrajzi fekvése között. Jelenlegi ismereteink szerint nincs tehát érdemi ellentmondás bauxitgenetikai elméleteink és a bauxitelőfordulások földrajzi elterjedése között.

A harmadik kérdés a bauxitképződés intenzitásváltozásaira vonatkozott. Nyilvánvaló, hogy a kedvező és a kedvezőtlen külső feltételek együttes alakulása szabta meg azt, hogy mikor mennyi bauxit keletkezett. Nem lehet véletlen, hogy az első maximum a középső devonban indult, amikor a szárazföldi növénytakaró kialakulása kedvező előfeltételeket teremtett a bauxitosodásra, és egyben a kialakult mállási övet is megvédte a lepusztulás elől. Ezt követően a globális klímaváltozások voltak a bauxitképződés intenzitásának fő hatótényezői.

Globálisan meleg és nedves időszakok alatt nagyobb területen volt lehetőség bauxitképződésre, sőt maga a folyamat is intenzívebbé vált. A bauxitképződés korábbiakban ismertetett maximumai mind ilyen kedvező klímaperiódusokkal estek egybe. Ugyanakkor a köztes minimumok idején a paleoklimatológiai kutatások eredményei szerint globálisan hűvösebb és szárazabb volt a klíma, mint például az oligocénben.

Ezen túlmenően a légkör összetétele is befolyásolta a bauxitképződés intenzitását. A közelmúltban elvégzett számításaink sze-

rint (COMBES et BÁRDOSSY 1995) a bauxitok átlagosan 55,7% oxigént tartalmaznak. Ugyanakkor kiinduló kőzeteik átlagos oxigéntartalma 45,7%. A különbség kerek 10%, amit a bauxitosodás során a légkörből kötött meg a bauxit. Hasonló különbség adódott a lateritokra is. A földtörténeti múltban, különösen a bauxitképződési maximumok idején hatalmas trópusi területeket borított laterit és egyes helyeken bauxit. Számításaink szerint a középső és a felső krétában a légköri oxigéntartalom 4–11%-át kötötte meg a lateritesedés és bauxitosodás. BUDYKO, RONOV és JANSIN (1987) számításai szerint a fanerozoikumban a középső krétában, az alsó karbonban és a neogénben volt a legnagyobb a légkör oxigéntartalma, ez pedig egybeesik a bauxitképződés maximumaival. Ez az egybeesés aligha lehet véletlen. Elképzelhető tehát, hogy a nagy oxigéntartalom is elősegítette a lateritesedés és bauxitosodás folyamatát.

Igen valószínű, hogy az orogén övezetekben a **vulkanizmus** is elősegítette a bauxitképződést. Közismert, hogy a bazaltos és andezites lávák, de még inkább tufaik igen mállékonyak, tehát elsőrendű kiinduló kőzetei lehettek a bauxitoknak. Számításaim szerint a lateritbauxitok több mint 20%-a ilyen vulkáni kőzetekből jött létre. Földünk legjelentősebb karsztbauxit-felhalmozódása – Jamaica szigetén – feltevéseink szerint andezites-bazaltos vulkáni tufából származik.

A tengerparti síkságokon az **eusztatikus tengerszint-ingadozások** szabtak keretet az ottani karsztbauxit-képződésnek. A tengerelöntések idején jöttek létre a nagy kiterjedésű sekélytengeri karbonát platformok. A tenger visszahúzódása során ezek a felszínre kerültek, elkezdtek karsztosodni és mélyedéseikben lepusztult laterites mállástermékek halmozódtak fel. Ezek a folyamatok a magasabban fekvő lateritbauxit-telepeket nem érintették.

Végül, de nem utolsósorban a **tektonikai stabilitás** is befolyásolta a bauxitképződést. Nagy kiterjedésű peneplain felületek kialakulásához tektonikai nyugalomra volt szükség, de ugyanígy tektonikai nyugalmat igényelt a lateritesedés és bauxitosodás is. A

tektonikai mozgások újraindulása felgyorsította a mállástermékek lepusztulását, elsősorban a peremi területeken, és így közvetve a karsztbauxit- és a tyihvini típusú telepek kialakulását tette lehetővé.

Mint láthatjuk, rendkívül összetett, bonyolult folyamatokról volt itt szó, számos körülmény szerencsés egybeesése kellett ahhoz, hogy bauxitlepek jöhessenek létre.

További probléma a **bauxitlepek fennmaradása**, hiszen a viszonylag puha felszíni málladék könnyen lepusztul. A nagy kontinentális penepplain felületeken a lepusztulás völgyek bevágódásával indul. Ezáltal csökken a platók kiterjedése és körvonaluk is egyre tagoltabbá válik. Azt tapasztaltam, hogy ez a körülmény elősegítette a peremi részeken a további bauxitosodást, hiszen a bevágódás által felgyorsult a csapadékvíz átszivárgása, és ezáltal a kovásva kioldása is teljesebbé vált. A bauxitkutatás során számos helyen tapasztaltuk, hogy a legjobb, 0,5–2% SiO_2 -t tartalmazó bauxit a platók peremének közelében helyezkedett el.

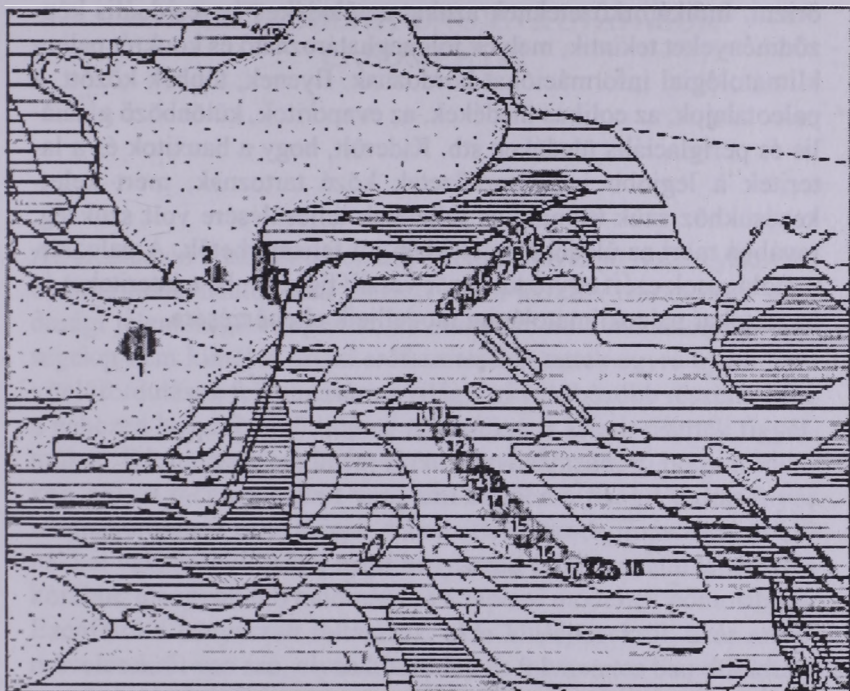
A mobilis tengerparti övekben a bauxit többnyire úgy őrződött meg, hogy a telepek felhalmozódását csakhamar újabb tengerelőretérés követte. A bauxitra fedőrétegek rakódtak le, és ezek megvédték a későbbi lepusztulástól. Nagyobb területekre kiterjedő kiemelkedés esetén persze ezek is lepusztultak a bauxitlepekkel együtt.

Összefoglalva az a véleményem, hogy az utóbbi évtizedek sokoldalú kutatásainak eredményeként átfogó kép alakult ki a bauxitképződés földtörténeti alakulásáról. Ez a kép belső ellentmondásoktól mentes és ezért elfogadhatónak látszik.

4. A BAUXITOK TUDOMÁNYOS MEGISMERÉSÉNEK FELHASZNÁLÁSA MÁS TUDOMÁNYÁGAKBAN

Mára bauxitföldtani ismereteink olyan széles körűekké és megbízhatóakká váltak, hogy fel lehet használni őket más földtudományágak kutatásainak elősegítésére. Az egyik ilyen felhasználási terület az **ősföldrajzi rekonstrukciók ellenőrzése**. Ismeretes, hogy ősföldrajzi rekonstrukciók eddig elsősorban sekélytengeri képződmények felhasználásával készültek. Úgy tűnik, hogy emiatt szerepüket helyenként túl is becsülték. A most elmondottakból kitűnt, hogy néhány kisebb telep kivételével a bauxitlepek jelenléte szárazföldet jelez. A Téthys térség ősföldrajzi atlaszának készítésekor jöttünk rá arra, hogy számos helyen szárazföldi bauxitlepek vannak sekélytengernek feltételezett területrészekben (BÁRDOSSY et DERCOURT 1993). Ennek egy példáját láthatjuk a 7. ábrán, ahol a 4–10. és a 11–18. sorszámú bauxitelőfordulások korábban sekélytengerinek feltételezett területekre esnek. A bauxitlepek rendszeres figyelembevétele tehát pontosítja a szárazföldek határának megrajzolását.

A bauxitlepek a **paleomorfológiai kutatások** számára is hasznos információkat szolgáltatnak. A lateritbauxit-telepek többsége kiemelt platókat jelez, melyek egykori kontinentális peneplain felületekhez tartoznak. Karsztbauxitok jelenléte viszont tengerközeli, alacsonyan fekvő karbonátos térszint jelez. Többségük nem emelkedett 200 méterrel az egykori tengerszint fölé. A karsztosodás – tapasztalataink szerint – a karsztvízszintig tud lefelé hatolni a karbonátos kőzetekben. Minél mélyebbek a karsztformák, annál magasabban lehetett a telepek felszíne az egykori karsztvízszint felett. A karsztbauxitlepek többségében a karsztos mélyedések 5–40 méter mélyek, de Magyarországon 100–130 méter, Kazahsztánban



7. ábra. A szenon-paleocén és alsó eocén ősföldrajzi vázlata a Mediterrán térségre BÁRDOSY és DERCOURT (1990) szerint. Vízszintesen sűrűn csíkozott = óceáni kéreg; ritkán csíkozott = sekélytenger kontinentális talapzat; pontozás = szárazföld; függőleges csíkozás = bauxitelfordulások és sorszámaik

pedig 200–300 méter mély bauxittal kitöltött karsztos mélyedéseket is kimutatott a bauxitkutatás és a bauxitbányászat. Mindez, ha közvetve is, a paleotérszín relatív magasságára utal.

A bauxitok **paleoklimatológiai** információi talán a legfontosabbak. A paleoklimatológiában a stabil izotópokkal, geofizikai mérésekkel és a számítógépes paleoklíma-modellekkel nyert eredményeket őslényekkel, ill. ún. indikátorközetekkel szokták ellen-

őrizni. Indikátorkőzeteknek azokat az üledékes és reziduális képződményeket tekintik, melyek jól meghatározható és konkrét paleoklimatológiai információkat hordoznak. Ilyenek, többek között, a paleotalajok, az eolikus üledékek, az evaporitok, különböző glaciális és periglaciális üledékek stb. Kiderült, hogy a bauxitok és a lateritek a legjobb indikátorkőzetek közé tartoznak, mert keletkezésükhöz szűk klimatikus feltételek teljesülésére volt szükség, továbbá mert az üledékösszletekben jól felismerhetők. A paleoklimatológusok ezért egyre többször veszik figyelembe a lateriteket és bauxitokat paleoklimatológiai modelljeik ellenőrzésére.

5. A GYAKORLATI BAUXITKUTATÁSOK EREDMÉNYEI

Az előzőkben felsorolt tudományos eredmények jó része gyakorlati bauxitkutatás nélkül nem jöhetett volna létre. A bauxit nagy gazdasági jelentősége miatt mind az állami, mind a magáncégek költségeket nem kímélve óriási erőfeszítéseket tettek egyre újabb bauxitelőfordulások felkutatására a világ legkülönbözőbb részein. Még a nehezen hozzáférhető trópusi területekre is kiterjesztették figyelmüket. E kutatások eredményeként körvonalazódott, hogy földünkön hol és mennyi bauxit van, ami egyben a bauxit tudományos megismerésének is az alapja. A bauxitlepeknek fúrásokkal és aknákkal való megkutatása, majd bányászati feltárása tette lehetővé a korábbi, elnagyoltabb tudományos teleptani modellek pontosítását. Ezenfelül a bányászati feltárások, akár kűlfejtésekről, akár mélyművelésekről van szó, olyan közvetlen és folyamatos bauxitföldtani megfigyelésekre és ismeretszerzésre nyújtanak alkalmat, amelyeket csak a természetes feltárásokban lehetetlen lenne megszerezni.

A bauxitkutatás és bányászati kitermelés igen sok vegyelemzést igényel. Ezért világszerte milliószámra készültek vegyelemzések a bauxitok fő vegyi alkotóiról, a járulékos és a nyomelemekről pedig több tízezer. Ezt az óriási adathalmazt mindeddig csak a közvetlen gyakorlati célok érdekében értékelték ki. A tudományos feldolgozás az adathalmaz egy kis töredékét öleli fel, pedig a mintavétel rendszeressége miatt az elemzési anyag sokoldalú tudományos feldolgozása lényegesen bővíthetné jelenlegi bauxitföldtani ismereteinket. Ez a felismerés készítetett arra, hogy mintegy öt éve hozzáfogjak a magyarországi bauxitelemzések rendszeres feldolgozásához. Munkámat Halimba, Szóc és Kislöd térségében kezdtem el a százezret is meghaladó vegyelemzési anyag földtani értelmezésével, számító-

gépes rögzítésével, amit sokváltozós matematikai statisztikai és geokémiai értékelés követ. Ez a munka jelenleg is folyamatban van.

Rendkívül sokat fejlődtek az elmúlt évtizedek során a gyakorlati **bauxitkutatási módszerek**, kezdve a bauxitprognózissal, a felderítő és részletes fúrási kutatásokon át a bányaföldtani munkákig. Ezekben a kutatásokban egyre nagyobb szerepet kap a felszíni és a lyukgeofizika, sőt a legutóbbi években légi geofizikai módszerek is megjelentek. A nehezen hozzáférhető területeken a helikopteres berepülésekkel végzett geomorfológiai megfigyelések vezetnek be a tulajdonképpeni kutatásokat.

Rendkívül fontos volt az a felismerés, hogy egyes tudományos bauxitkutatási módszerek a gyakorlati bauxitkutatás számára is igen hasznosak lehetnek. Így került sor geomorfológiai, geokémiai és szedimentológiai módszerek alkalmazására, elsősorban a felderítő bauxitkutatásban. Különösen ott hasznos e módszerek alkalmazása, ahol a bauxitlepeket fedőrétegek borítják, tehát közvetlenül nem figyelhetők meg a felszínen. Segítségükkel leszűkíthető a fúrásokkal megkutatandó terület, sőt még azt is ki lehet jelölni, hogy hol remélhető a legjobb minőségű bauxit. E tudományos módszerek alkalmazásával tehát sok pénzt és időt lehet megtakarítani.

A kutatások lezárását a bánya megtervezéséhez szükséges adat-szolgáltatás és kiértékelő jelentés, az ún. zárójelentés elkészítése követi. Ennek a munkának egyik legfontosabb része a **bauxitvagyon meghatározása**. A több évtizede használatos hagyományos ásványvagyon-számítási módszerek mellett az utóbbi két évtizedben egy új módszer, a **geostatisztika** terjedt el. Ez a módszer nemcsak nagyobb pontosságot biztosít, de a vagyonszámítás megbízhatóságát is számszerűen értékeli. A számítások bonyolultsága miatt számítógép alkalmazása nélkülözhetetlen. A módszert kifejlesztő franciák után igen hamar, a hetvenes évek végén a magyar bauxitkutatásban és a bányaföldtanban is meghonosítottuk a geostatisztikai vagyonszámítást (BÁRDOSY et al. 1987).

A földtani vagyon meghatározását követi a bauxitvagyon **gazdasági értékelése**. A tervutasításos gazdasági rendszer összeomlása

az eddig előírt, zömében formális gazdasági értékeléseket feleslegessé tette. Helyette hazánkban is a piacgazdaságokban elfogadott gazdasági értékelő módszereket alkalmazzák a bauxitra is, mint például a cash-flow analízist, a nettó jelenérték-számítást, a belső profitráta-számítást stb. Sajnos e módszerek a tényleges gyakorlatban még nem nyertek teljes körű alkalmazást.

A gyakorlati bauxitföldtanhoz tartozik a **világ bauxitvagyonának** ismerete is. Jelenlegi ismereteink szerint (1995. jan. 1-jei állapot) földünk „ismert” földtani bauxitvagyonra kerekítve 43 milliárd tonna. Ehhez járul még további 15–20 milliárd tonna ún. „reménybeli” bauxitvagyon, melynek pontos helyét közvetlenül nem ismerjük, de földtani megfontolások alapján létezését megalapozottan feltételezhetjük. Az ismert földtani bauxitvagyon 64 ország területén mintegy 260 bauxitelőforduláson található. Az 1. táblázaton a legnagyobb ismert földtani bauxitvagyonnal rendelkező országok vagyonát mutatom be. A sort kiemelkedően nagy bauxitvagyonával Guinea és Ausztrália vezeti. Magyarország ismert földtani bauxitvagyonra 155 millió tonna, ami a világkészletnek kevesebb mint 4%-a. Ebből – személyes becslésem szerint – a gazdaságosan kitermelhető és feldolgozható bauxit mennyisége (az ún.

1. táblázat. A legnagyobb ismert földtani bauxitvagyonnal rendelkező országok

	millió tonna
1. Guinea	9600
2. Ausztrália	9160
3. Brazília	4600
4. India	2300
5. Venezuela	2100
6. Vietnam	2000
7. Indonézia	1900
8. Jamaica	1800
9. Kamerun	1000
10. Guyana	800

ipari vagyon) 10–15 millió tonna. A pontos mennyiség a mindenkori piaci árviszonyoktól, továbbá a kitermelés és a feldolgozás (timföldgyártás) költségalakulásától függ.

A világ bauxittermelése 1994-ben 110 millió tonna bauxit volt. Magyarország bauxittermelése 1987-ben volt a legnagyobb, 3,1 millió tonna. Azóta a bauxittermelés jelentősen visszaesett, 1994-ben 836 000 tonna volt. A világ bauxittermelését évek óta Ausztrália vezeti, amely az össztermelés 35–40%-át adja. Bauxitot eddig összesen 30 országban termeltek. Kiszámítottam, hogy a bauxittermelés kezdete – a múlt század hetvenes éveitől – óta az emberiség összesen 3,3 milliárd tonna bauxitot termelt ki, ami a föld eredeti teljes bauxitvagyonának mintegy 7%-a. Amennyiben folytatódik az utolsó évtizedek néhány százalékos növekedési trendje, úgy a bauxit több mint 200 évre biztosítja az emberiség fémalumínium-igényeit.

Magyarországon a bauxittermelés 1926-ban indult és 1995-ig összesen 96 millió tonna bauxitot termeltek és dolgoztak fel. Ezzel a kitermelt bauxit mennyiségét tekintve Magyarország a világ-ranglista kilencedik helyét foglalja el, ami, figyelembe véve az ország kis területét, kiemelkedő teljesítmény.

6. BAUXITVIZSGÁLATI ÉS ÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREK

A legtöbb bauxitvizsgálati módszert a tudományos és a gyakorlati bauxitkutatásban egyaránt alkalmazzák, ezért célszerű őket együtt áttekinteni. A legfontosabb vizsgálati irányok a következők:

- a) vegyelemzési módszerek,
- b) ásványtani vizsgálati módszerek,
- c) bauxitszövet- és -szerkezetvizsgálatok,
- d) hidrogeológiai vizsgálatok,
- e) bauxitdúsítási vizsgálatok,
- f) timföldtechnológiai vizsgálatok,
- g) a bauxit járulékos és nyomelemeinek kinyerésére irányuló vizsgálatok.

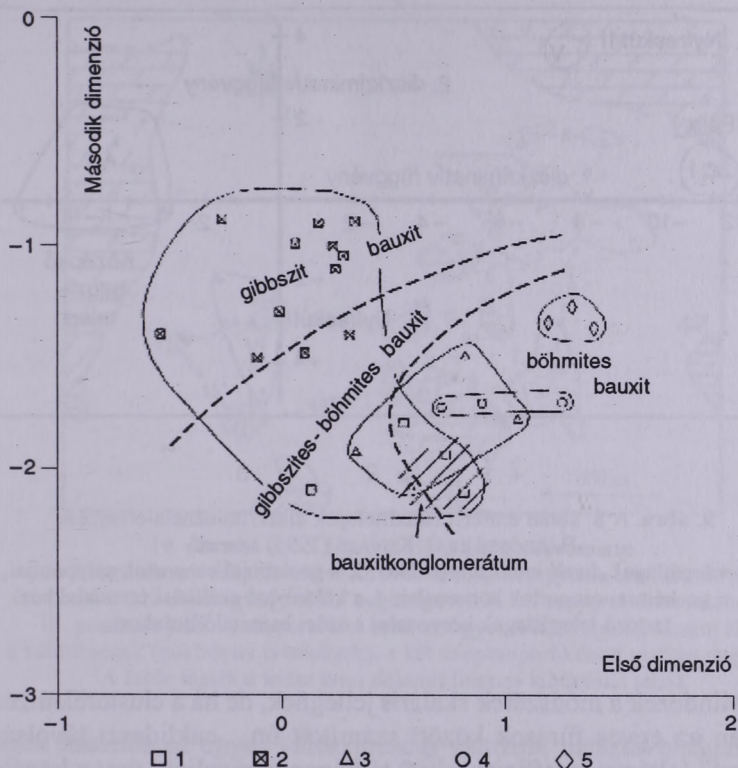
E módszerek ismertetése, vizsgálati eredményeik egybevetése fontos témakör, de meghaladja e székfoglaló kereteit. A vizsgálati eredmények kiértékelését viszont áttekinthetjük, mert ez a bauxit esetében bonyolult feladat és speciális megközelítést kíván. A hagyományos kiértékelés a bauxitminták leírásából állt, melyhez földtani szelvények és különböző izovonalas térképek szerkesztése járult. E leírásokat esetenként fényképek és rajzok egészítették ki.

Az elmúlt évtizedekben ismerték fel világszerte a **földtani modellalkotás** fontosságát, A modell a természeti valóság leegyszerűsített, könnyen áttekinthető és kezelhető képe. Akár tudományos, akár gyakorlati bauxitkutatásról van szó, célszerű a munkát egy teleptani modell megalkotásával kezdeni. Ezt a modellt a kutatások során folyamatosan pontosítjuk, ha kell, módosítjuk. A modellalkotás egyik fő haszna, hogy elősegíti annak a felismerését, hogy melyek a legfontosabb, soron következő megoldandó kérdések. El-

képzeléseink ellentmondásait is a modellek segítségével ismerhetjük fel a legkönnyebben. A teleptani modellek alkalmazása a gyakorlati nyersanyagkutatásban világszerte elterjedt, a hazai bauxitkutatás sajnos e tekintetben kissé elmaradt.

Az elmúlt évtizedek során egyre nőtt az igény a kvalitatív leírásoknak kvantitatív kiegészítésére. Erre a **matematikai statisztika** módszereinek alkalmazása nyújt lehetőséget. A bauxitkutatásban e téren leghamarabb a hagyományos, egyváltozós statisztikai módszerek terjedtek el: egyszerű és súlyozott átlagokat számítottak, továbbá gyakorisági hisztogramokat szerkesztettek. Egyes esetekben a szórást is kiszámították, sőt kétváltozós korrelációs számításokat is végeztek.

Csak a legutóbbi években került sor a **sokváltozós statisztikai módszerek** alkalmazására, főként a tudományos geokémiai bauxitkutatásban. Személyes tapasztalataim szerint a telepeken belül geokémiai csoportok megkülönböztetése és különbségeik mennyiségi bemutatása legjobban a clusteranalízis, a nem-lineáris síkra vetítés és a diszkriminancia-elemzés módszereinek együttes alkalmazásával érhető el. A clusterelemzéssel lehet az egyes geokémiai csoportok különbségeit számszerűsíteni, ugyanakkor ez a módszer a csoportok alakjára nem ad felvilágosítást. A nem-lineáris síkra vetítés igen jól szemlélteti a csoportok alakját és egymáshoz való viszonyát, de numerikus összehasonlító adatokat nem szolgáltat. Példaként a 8. ábrán a délnyugati Bakony néhány bauxitelőfordulásának nem-lineáris síkra vetítését mutatom be (BÁRDOSSY and Ó. KOVÁCS 1995). A diszkriminancia-elemzés nagy előnye, hogy a kétdimenziós ábrázolás mellett bizonyos számszerű értékeket is ad, továbbá a kiértékelésbe utólag könnyen bekapcsolhatók újabb fúrások, ill. elemzési adatok (9. ábra). Különösen jól használható ez a módszer akkor, ha egy újonnan kimutatott bauxitlep geokémiai „rokonságát”, esetleg genetikai hovatartozását kívánjuk felderíteni. Figyelem reméltó, hogy milyen jól elkülönülnek egymástól a halimbai és a szőci bauxitok vegyi összetételük együttes, sokváltozós értékelése esetén, sőt a szőci területen még a különböző behordási

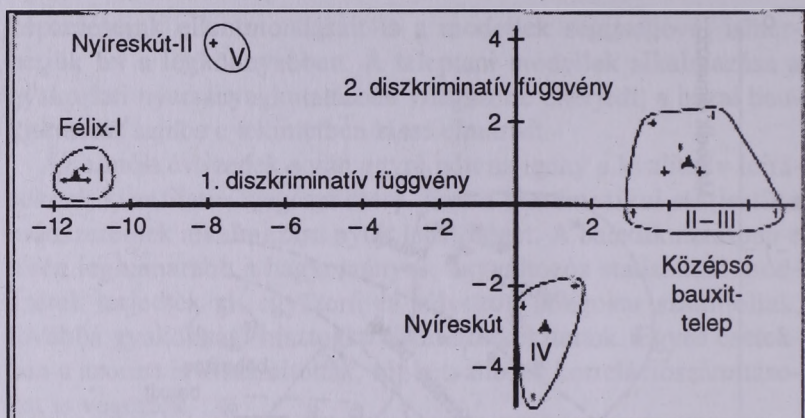


8. ábra. A délnyugati Bakony néhány bauxitelőfordulásának nem-lineáris síkra vetítése a bauxit nyolc kémiai komponense alapján
BÁRDOSSY és Ó. KOVÁCS (1995) szerint

1. és 2. a szőci bauxitelőfordulás telepátlagai, 3. a kislődi bauxitlep, 4. a halimbai cseresi bauxitlep, 5. a Halimba II/DNY bauxitlep

útvonalak szerint is külön geokémiai csoportokat alkotnak a telepek.

Az adathalmaz változékonyságát és a változékonyságot meghatározó tényezőket (faktorokat) a **főkomponens-elemzéssel** és a **faktorelemzéssel** lehet értékelni. Ez a módszer eddig főként lateritbauxitoknál és lateriteknél nyert alkalmazást (GERMANN et al. 1987).

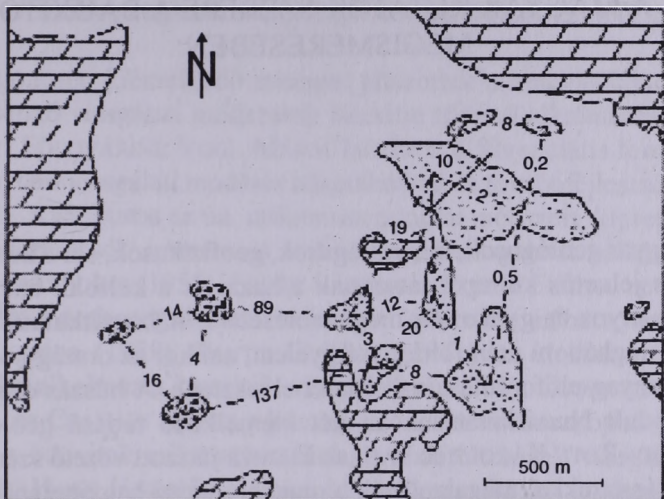


9. ábra. A 8. ábrán értékelt bauxitlepek diszkriminancia-elemzése
BÁRDOSY és Ó. KOVÁCS (1995) szerint

1. a telepátlagok diszkriminancia-értékei, 2. a geokémiai csoportok súlypontjai,
3. a geokémiai csoportok körvonalai, 4. a különböző szállítási útvonalakhoz tartozó telepátlagok körvonalai a szőci bauxitelőforduláson

Mindezek a módszerek skaláris jellegűek, de ha a clusterelemzés során az egyes fúrások között számított ún. „euklideszi távolságokat” (eltérési koeficienseket) térképen ábrázoljuk, úgy a közöttük lévő geokémiai különbségek együttes hatása a térben is szembe tűnővé válik. Ilyen térképeket szerkesztettem például a szőci bauxitelőfordulásra (10. ábra). Ugyanezek a számítások függőleges síkban, tehát földtani szelvények mentén is elvégezhetők. Igen jól bevált ez a módszer szomszédos fúrások közötti korrelálás esetén, ha a telep bonyolult felépítésű és nem világos előttünk, hogy miként kapcsolódnak egymáshoz a telep egyes részei.

A bauxittulajdonságok térbeli leírására és a változékonyság jellemzésére a **geostatistikai** módszerek a legalkalmasabbak. A bauxitvagyon kiszámításában való szerepükről az előzőkben már szóltam. Tapasztalataim szerint a tudományos bauxitkutatás számára is



10. ábra. A szöci bauxitelőfordulás középső része.

A bauxittelepek csoportosítása az öt fő kémiai komponensből számított ún. „euklideszi távolságnégyzetek” segítségével. A két csoportot háromszögek, ill. pontozás jelzi. A csoportokon belül az egyes telepek között kicsinyek a különbségek (euklideszi távolságok), a két telepesoport között viszont nagyok.

A ferde téglák a triász korú dolomit felszíni kibúvárait jelzik

igen hasznos az egyes valószínűségi változók hatástávolságainak kiszámítása az ún. variogramok segítségével. A **fuzzy-set-elmélet** felhasználásával félkvantitatív jellegű adatokkal is végezhetünk geostatisztikai számításokat. Ez lényegesen kibővíti a geostatisztikával feldolgozható adatok körét.

A röviden áttekintett matematikai módszerek alkalmasak igen nagy számú – több százazres nagyságrendű – földtani adat feldolgozására. Előfeltétel a megfelelő számítógépes háttér és a korszerű adatbázis-kezelő rendszerek alkalmazása. A térinformatikai programok az eredmények rajzi megjelenítését is lehetővé teszik térképek, szelvények és háromdimenziós diagramok formájában. Mindezek megvalósításához ma már Magyarországon is adottak a tárgyi előfeltételek.

7. A MAGYAR KUTATÓK SZEREPE A BAUXITOK MEGISMERÉSÉBEN

A magyar geológusok, mineralógusok, geofizikusok, sőt a kémikusok is jelentős szerepet játszottak a hazai és a külföldi bauxitok tudományos és gyakorlati megismerésében. A bauxitkutatásra az első világháború után fordult a figyelem, amikor az ország korábbi nyersanyag-előfordulásainak zömét elvesztette. A húszas években megindult bauxitkutatásokban két kiemelkedő tudású geológus, TELEGDI-ROTH KÁROLY és VADÁSZ ELEMÉR játszott vezető szerepet. Munkásságukkal megalapozták a magyarországi bauxitlepek keletkezésére vonatkozó tudományos elméleteket, ugyanakkor a gyakorlati bauxitkutatásban is tevékenyen részt vettek. Bauxitgenetikai és kutatás-módszertani elképzeléseik nemzetközi összehasonlításban is a kor élvonalát jelentették. Nagy kár, hogy írásaik zömmel magyar nyelven jelentek meg, és így nemzetközileg nem váltak kellően ismertekké.

NÁRAY-SZABÓ ISTVÁN és NAUGEBAUER JÁNOS alkalmazta világviszonylatban is elsőként a röntgendiffrakciós vizsgálatokat bauxitos ásványok összetételének meghatározására (1944).

A második világháború után a teljes magyar alumíniumipar állami kézbe került (MASZOBAL, majd MAT), és ennek keretében külön vállalatot hoztak létre a bauxitkutatásra. Az ország akkori legkiválóbb felvételező geológusai – BARNABÁS KÁLMÁN, BERTALAN KÁROLY, JASKÓ SÁNDOR, NOSZKY JENŐ, SZENTES FERENC és SZÖCS ENDRE – az ország reménybelinek tekintett területein bauxitföldtani térképezést végeztek. Sajnos eredményeiknek csak kisebb része jelent meg nyilvános publikációkban, nagyobb részük belső vállalati jelentések formájában maradt meg számunkra. 1950-ben jelent meg VADÁSZ ELEMÉR „Bauxitföldtan” című könyve, amely

több évtizedre meghatározó jellegű bauxitföldtani iskolát teremtett.

Különösen kiemelkedő szerepet játszottak a magyar kutatók a különböző vizsgálati módszerek bauxitra történő alkalmazásában. A sort FÖLDVÁRINÉ VOGL MÁRIA kezdte a differenciális termikus ásványtani vizsgálati módszer adaptálásával és továbbfejlesztésével (1952). KISS JÁNOS az ún. mikromineralógiai módszert, kipreparált ásványszemcsék immerziós mikroszkópi vizsgálatát alkalmazta hazai bauxitokra (1955). ERDEY LÁSZLÓ és PAULIK FERENC nevéhez fűződik a derivatográf nevű műszer kifejlesztése és bauxitra való alkalmazása (1959). PANTÓ GYÖRGY (1971) az elektron-mikroszondát alkalmazta bauxitok vizsgálatára (1971), CSORDÁS TÓTH ANNA és CSANÁDI ÁGNES a pásztázó elektronmikroszkópot vezette be a bauxitok mikroszövetének és térkitöltésének vizsgálatára (1978). HAAS JÁNOS ösföldrajzi és szedimentológiai módszereket alkalmazott a magyarországi bauxitlepek keletkezésének magyarázatára (1984). MINDSZENTY ANDREA (1985) és JUHÁSZ ERIKA (1989) újszerű szedimentológiai módszerekkel vizsgálta meg a hazai bauxitok szövetét. Mindezek az eredmények nemzetközi viszonylatban is széles körű érdeklődést keltettek.

A gyakorlati bauxitkutatás terén is sok újat alkottak a magyar geológusok. Így a bauxitkutatás földtani előkészítésével, a reménybeli területek kiválasztásával foglalkozik SZANTNER FERENC, MINDSZENTY ANDREA és KNAUER JÓZSEF „Bauxitprognózis” című könyve (1986). A fúrásos bauxitkutatás eredményességét nagyban megnövelték az elmúlt évtizedekben hazánkban bevezetett geofizikai módszerek (SZABADVÁRY LÁSZLÓ 1987). Különösen értékesek azok a pontos és részletes telepleírások, melyek a bányászati feltárások kapcsán születtek, pl. BARNABÁS KÁLMÁN (1969) a halimbai Cseres-telepről, ill. ERDÉLYI TIBOR (1983) leírása a halimbai nagy bauxit-telepről.

A magyar kutatók külföldi bauxitlepek megkutatásában és tudományos feldolgozásában is részt vettek. Így VADÁSZ ELEMÉR és KORMOS TIVADAR jugoszláviai bauxitlepek kutatásában vettek

részt. KORMOS TIVADARNak köszönhető a bauxitgenetikai tekintetben rendkívül fontos bauxit anyagú barlangkitöltések részletes leírása Moszta térségéből (1943). KOMLÓSSY GYÖRGYnek köszönhető a Vietnam északi részén lévő karsztbauxittelepek első részletes földtani, geokémiai és ásványtani leírása, valamint genetikai kiértékelése (1976). SZABÓ ELEMÉR Ghana bauxittelepeinek kutatásában vett részt és a telepekről geokémiai, geomorfológiai és genetikai kiértékelést készített (1972). MINDSZENTY ANDREA az olasz BRUNO D'ARGENIÓval a karsztbauxit-képződés klimatikai, tektonikai és ösföldrajzi feltételeit foglalta össze, külön kiemelve a vulkanizmus szerepének fontosságát (1992).

A magyar bauxitkutatók munkájának elismertségét jelzi a nemzetközi szervezetekben betöltött szerepük. 1964-ben magyar kezdeményezésre alakult meg Zágrábban az ICSOBA, a bauxit- és timföldkutatás nemzetközi szervezete. A hidegháború éveiben a szervezet rendezvényei tették lehetővé a nyugati és keleti kutatók rendszeres találkozóit és szakmai véleménycseréjét. A szimpóziumokon, konferenciákon földtani kirándulásokra és bányalátogatásokra került sor, így a kutatók közvetlenül megismerhették a legkülönbözőbb bauxitelfordulásokat. Meggyőződésem, hogy a tudományos bauxitkutatás fellendülése nagyrészt az ICSOBA tevékenységének köszönhető. Az ICSOBA nemzetközi elnökségében a magyar kutatók rendszeresen képviselve voltak. 1968–1973 között DOBOS GYÖRGY, 1992 óta KOMLÓSSY GYÖRGY az ICSOBA elnöke. Két alkalommal Magyarországon került sor az ICSOBA kongresszusára, és ezenfelül több nemzetközi szimpóziumot is rendeztek hazánkban. Az ICSOBA Magyar Nemzeti Bizottsága az ICSOBA megalakulása óta a magyar kutatók számára minden évben szakmai összejöveteleket és ankétokat szervez.

A Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) 90 és 100 éves jubileumi alkalmával nemzetközi bauxitföldtani konferenciákat szervezett, melyeken a hazai kutatók mellett számos külföldi geológus is részt vett. E konferenciák előadásait külön kötetekben jelentette meg a MÁFI (1970).

Az IGCP, a Nemzetközi Földtani Korrelációs Program 1975 és 1983 között „**Lateritisation Processes**” néven nemzetközi projektet működtetett, melynek munkájában és rendezvényein magyar geológusok is részt vettek. Ugyanez a nemzetközi szervezet 1989 és 1995 között „**Tethyan Bauxites**” címmel szervezett nemzetközi projektet, melynek munkájában számos magyar geológus vett részt, társelnöke pedig MINDSZENTY ANDREA volt.

A fentiekből kitűnik, hogy a magyar kutatók hazánk lélekszámát messze meghaladó mértékben vettek részt a föld bauxitjainak és lateritjeinek megismerésében. Ezzel a tevékenységükkel az országnak nemzetközi tekintélyt szereztek.

A bauxitok tudományos és gyakorlati kutatása még korántsem ért véget. Folytatódik a gyakorlati bauxitkutatás az egész világon, igen korlátozott mértékben Magyarországon is. Emellett egyre újabb bauxitelőfordulások tudományos feldolgozására kerül sor és újabb átfogó összesítések születnek. Bizom benne, hogy e munkában a magyar kutatók a jövőben is jelentős szerepet fognak játszani.

IRODALOM

- BARNABÁS, K. (1970): Die vergleichende Untersuchung der charakteristischen Bauxitlagerstätten des Mittelgebirges von Dunántúl. – MÁFI Évkönyve. 54. fasc. 3. pp. 69–93.
- BÁRDOSSY, GY. (1973): Bauxitképződés és lemeztectonika. – MTA X. Osztályának Közleményei 6. No. 1–4. pp. 227–240.
- BÁRDOSSY, GY. (1982). Karst Bauxites. Bauxite Deposits on Carbonate Rocks. – Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam–Oxford–New York, p. 441.
- BÁRDOSSY, GY. and PANTÓ, GY. (1971): Investigation of bauxites with the help of electron-probe. – Tscherma's Min. Petr. Mitteilungen, Wien, 15., pp. 165–184.
- BÁRDOSSY, GY., BONI, M., DALL'AGLIO, M., D'ARGENIO, B. and PANTÓ, GY. (1977): Bauxites of Peninsular Italy. Composition, origin and geotectonic significance. – Monograph Series on Mineral Deposits. No. 15. Berlin, Stuttgart, p. 61.
- BÁRDOSSY, GY., CSANÁDI, A., CSORDÁS, A. (1978): Scanning electron microscope study of bauxites of different ages and origins. – Clays and Clay Minerals. 26. 4., pp. 245–262.
- BÁRDOSSY, GY., BÁRDOSSY, A., FODOR, B., LENGYEL, K., RAPP, F. (1987): L'utilisation des méthodes statistiques et géostatistiques pour l'étude des bauxites de Hongrie. – Science de la Terre. Paris. Ser. Inf. No. 26., pp. 23–41.
- BÁRDOSSY, GY. et DERCOURT, J. (1990): Les gisements de bauxites téthysiens. (Méditerranée, Proche et Moyen Orient); cadre paléogéographique et contrôles génétiques. – Bull. Soc. géol. France. Paris. t. VI. No. 6., pp. 869–888.
- BÁRDOSSY, GY. and ALEVA, G. J. J. (1990): Lateritic Bauxites. – Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam–Oxford–New York–Tokyo, p. 624.
- BÁRDOSSY, GY. and JUHÁSZ, E. (1992): Application of sedimentological methods to karst bauxites evaluation: the Halimba–Szöc area, Hungary. – Acta Geologica Hungarica 34. No. 3., pp. 241–252.
- BÁRDOSSY, GY. and Ó. KOVÁCS, L. (1995): A multivariate statistical and geo-statistical study on the geochemistry of allochthonous karst bauxite deposits in Hungary. – Nonrenewable Resources, Oxford. Vol. 4. No. 2., pp. 138–153.

- BUDYKO, M. I., RONOV, A. B. and YANSHIN, A. L. (1987): History of the Earth's atmosphere. – Springer Verlag, New York, p. 139.
- BUSHINSKY, G. I. (1975): Geologija boksitov. – Izdatel'stvo Nyedra, Moszkva, p. 366.
- COMBES, P. J. (1984): Regards sur la géologie des bauxites: aspects récents sur la genèse de quelques gisements à substratum carbonaté. – Bull. Centre Rech. Explor. – Prod. Elf-Aquitaine. 8. No. 1., pp. 251–274.
- COMBES, P. J. (1990): Typologie, cadre géodynamique et genèse des bauxites françaises. *Geodinamica Acta*. Paris. 4., pp. 91–109.
- COMBES, P. J. et BÁRDOSSY, GY. (1995): Influence des bauxites et latérites sur la composition de l'atmosphère. – *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris*. t. 320. Série II., pp. 109–116.
- COMBES, P. J., OGGIANO, G. et TEMUSSI, L. (1993): Géodynamique des bauxites sardes, typologie, genèse et contrôle paléoclimatique. – *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris*. t. 316. Série II., pp. 403–409.
- COMER, J. B. (1974): Genesis of Jamaican bauxite. – *Economic Geology*. 69. No. 8., pp. 1251–1264.
- D'ARGENIO, B. and MINDSZENTY, A. (1992): Tectonic and climatic control on paleokarst and bauxites. – *Giornale di Geologia*. Bologna. ser. 3. vol. 54/1, pp. 207–218.
- ERDEY, L. and PAULIK, F. (1959): Derivatographische Untersuchung der Bauxite. – *Acta Chimica Acad. Sci. Hung.* 21. F. 2., pp. 205–218.
- ERDÉLYI, T. (1983): A halimbai bauxitbánya triász feküjének bányaföldtani kutatása. – *Földtani Kutatás*. 26. évf., 1. szám, pp. 11–16.
- FÖLDVÁRINÉ VOGL, M. (1952): Magyar bauxitfajták ásványos összetételének vizsgálata differenciális termikus elemzéssel. – *MTA Műszaki Tud. Oszt. Közleményei*. 5. 3. sz., pp. 55–67.
- GERMANN, K., MOCKE, A., DOERING, T., FISCHER, K. (1987): Cretaceous laterite derived sedimentary deposits (oolitic ironstones, kaolins, bauxites) in Upper Egypt. – *Berliner Geowiss. Abhandlungen*. 75. 3., pp. 727–758.
- HAAS, J. (1984): Paleogeographic and geochronologic circumstances of bauxite generation in Hungary. – *Acta Geologica Hungarica*. Vol. 27. No. 1–2., pp. 23–39.
- JUHÁSZ, E. (1989): Sedimentological features of the Halimba karstic bauxite, Hungary. *Travaux de l'ICSIBA*. Zagreb. Vol. 19., pp. 301–310.
- KIŠPATIĆ, M. (1912): Bauxite des kroatischen Karstes und ihre Entstehung. – *Neues Jahrbuch der Mineralogie*. Beil. 34., pp. 513–522.
- KISS, J. (1955): Recherches sur les bauxites de la Hongrie I. (Gánt). – *Acta Geologica Hungarica*. 3. fc. 1–3., pp. 45–88.
- KOMLÓSSY, GY. (1976): Minéralogie, géochimie et génétique des bauxites du Vietnam du nord. – *Acta Geologica Hungarica*. 20. 3–4., pp. 199–244.

- KORMOS, T. (1943): Bauxitképződés barlangüregekben. – Földtani Közlöny. 73., pp. 296–306.
- MINDSZENTY, A. (1985): The lithology of some Hungarian bauxites. A contribution to the Cretaceous paleogeography of the Transdanubian Central Range. – Acta Geologica Hungarica. 27. 3–4., pp. 445–457.
- MINDSZENTY, A. és GÁLNÉ SOMOS, A. (1988): A halimbai bauxit extraklasztjainak földtani jelentősége. – MÁFI Évi Jelentése 1986. évről, pp. 451–467.
- NÁRAY-SZABÓ, I. és NEUGEBAUER, J. (1944): Magyar bauxitok röntgenvizsgálata. – Magyar Technika. 25. évf. 6. f., pp. 259–262.
- SZABADVÁRY, L. (1987): Bauxite exploration in Hungary. – Geophysics. Vol. 52. No. 8., pp. 1166–1172.
- SZABÓ, E. (1972): Bauxitföldtani megfigyelések Ghanában. – Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat. 105. évf., pp. 483–490. és 615–619.
- SZANTNER, F., KNAUER, J., MINDSZENTY, A. (1986): Bauxitprognózis. – Veszprémi Akadémiai Bizottság kiadása, Veszprém, p. 472.
- TELEGDI-ROTH, K. (1927): A dunántúli bauxitlepek elterjedése és kutatása. – Bányászati és Kohászati Lapok. LX. évf., pp. 347–351.
- VADÁSZ, E. (1951): Bauxitföldtan. – Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 129.
- WEISSE, G. DE (1964): Bauxite latéritique et bauxite karstique. – Symp. Bauxites, Oxydes et Hydroxydes d'Aluminium. – Zagreb. 1–3. X. 1963. Vol. I., pp. 7–29.

